



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 44 37 970 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 01 N 33/38
G 01 N 11/10
B 28 C 7/00
// G 06 F 15/18

②1 Aktenzeichen: P 44 37 970.6
②2 Anmeldetag: 24. 10. 94
④3 Offenlegungstag: 2. 5. 96

DE 44 37 970 A 1

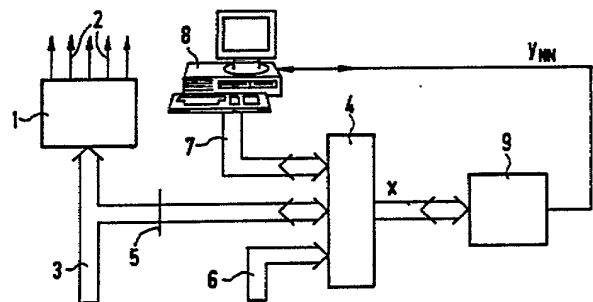
⑦1 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:
Haas, Ernst-Friedrich de, Dipl.-Ing., 41462 Neuss, DE;
Schweisser, Martin, 85591 Vaterstetten, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Einrichtung zur Vorhersage der Konsistenz von Transportbeton

⑤7 Zur Vorhersage der Konsistenz von Transportbeton bei der Übergabe an der Baustelle werden vorgegebene Einflußgrößen, von denen die Konsistenz abhängig ist, als Eingangsgrößen (x) einem neuronalen Netzwerk (9) zugeführt, das als Netzwerkantwort (y_{NN}) einen Vorhersagewert für die Konsistenz des Betons liefert.



DE 44 37 970 A 1

Beschreibung

Ein wichtiges Qualitätsmerkmal von Frischbeton ist seine Konsistenz, die entscheidend für die Verarbeitbarkeit des Frischbetons auf der Baustelle ist. Die Frischbetonkonsistenz ist vor Baubeginn unter Berücksichtigung der Verarbeitungsbedingungen festzulegen. Das nachträgliche Zumischen von Wasser zu fertigem Frischbeton, z. B. bei Ankunft auf der Baustelle, ist nach den deutschen Betonvorschriften nicht gestattet, weil dadurch die Qualität sowohl des Frischbetons als auch des Fertigbetons erheblich beeinträchtigt werden kann. Daher muß Transportbeton bei der Übergabe an der Baustelle die vereinbarte Konsistenz aufweisen, wobei das erforderliche Konsistenzvorhaltemaß um so größer sein muß, je länger der Transportweg und je höher die Betontemperatur ist.

Ziel bei der Herstellung von Transportbeton ist es somit, die Frischbetonkonsistenz im Transportbetonwerk so einzustellen, daß die gewünschte Konsistenz bei der Übergabe an der Baustelle gegeben ist. Die Konsistenz ist abhängig von der Zusammensetzung des Frischbetons, also dem Mischungsverhältnis von Bindemittel (Zement), Zuschlägen, Wasser, Zusatzmitteln und Zusatzstoffen, und von weiteren Parametern, wie der Umgebungstemperatur und der Transportzeit zur Baustelle. Nach DIN 1045 werden die vier Konsistenzbereiche KS (steif), KP (plastisch), KR (weich) und KF (fließfähig) unterschieden. Als Meßverfahren für die Frischbetonkonsistenz sind in Deutschland der Ausbreitversuch und der Verdichtungsversuch genormt und allgemein gebräuchlich. Sowohl der Ausbreitversuch als auch der Verdichtungsversuch müssen manuell durchgeführt werden und erfordern dementsprechend Zeit- und Personalaufwand, so daß diese Meßverfahren für die Steuerung und Korrektur der Betonproduktion nicht geeignet sind. Darüber hinaus läßt sich die Konsistenz nur indirekt und dementsprechend ungenau über Hilfsgrößen, wie z. B. die elektrische Wirkleistungsaufnahme des Mischerantriebs, erfassen. Weiterhin stellt sich das Problem, daß von der Konsistenz des Frischbetons während seiner Herstellung nicht ohne weiteres auf die Konsistenz zum Zeitpunkt der Übergabe des Frischbetons auf der Baustelle geschlossen werden kann.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine zuverlässige Vorhersage für die Transportbetonkonsistenz bei der Übergabe an der Baustelle zu ermöglichen und damit eine Möglichkeit zur effektiven Steuerung der Betonproduktion zu schaffen.

Gemäß der Erfindung wird die Aufgabe durch das in Patentanspruch 1 angegebene Verfahren bzw. die in Patentanspruch 5 angegebene Einrichtung gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Unteransprüchen angegeben.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird im folgenden auf die Figuren der Zeichnung Bezug genommen; im einzelnen zeigen

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel für die erfindungsgemäße Einrichtung mit einem neuronalen Netzwerk und

Fig. 2 ein Beispiel für das neuronale Netzwerk.

Fig. 1 zeigt in einem stark vereinfachten Blockschaltbild eine Steuereinrichtung 1, die über Steuersignale 2 die Herstellung von Frischbeton in einem Transportbetonwerk in Abhängigkeit von gemessenen und vorgegebenen Prozeßgrößen 3 steuert. Eine Auswerteeinrichtung 4 erzeugt eine vorgegebene Anzahl von Einflußgrößen, die einen Einfluß auf die Konsistenz des herzustellenden Frischbetons bei der Übergabe an der Baustelle haben und hier in einem Vektor x zusammengefaßt sind. Die Einflußgrößen x umfassen insbesondere die Gewichte der Bindemittelkomponenten, Zuschlagskomponenten, Zusatzmittel, Zusatzstoffe und des Zugabewassers, ferner Qualitätsmerkmale, wie die Körnung, Festigkeit und Angaben über den Hersteller der Bindemittelkomponenten, Zuschlagkomponenten, Zusatzmittel und Zusatzstoffe, außerdem Prozeßparameter, wie insbesondere die Feuchte der Zuschlagkomponenten, die Temperatur und Dichte des Zugabewassers, die elektrische Stromaufnahme des Mischerantriebs und die Umgebungstemperatur, und schließlich die Fahrzeit zur Baustelle. Diejenigen Einflußgrößen, die als Prozeßgrößen 3 zur Steuerung der Betonherstellung verwendet werden, werden über eine Schnittstelle 5 der Auswerteeinrichtung 4 zugeführt. Andere Einflußgrößen, die bei der Steuerung der Betonherstellung nicht verwendet werden, werden der Auswerteeinrichtung 4 entweder als zusätzliche Meßwerte 6 oder als Vorgabewerte 7 über eine Eingabe- und Anzeigeeinheit 8 zugeführt. Die in dem Vektor x zusammengefaßten Einflußgrößen werden einem neuronalen Netzwerk 9 zugeführt, das als Netzwerkantwort y_{NN} eine Vorhersage über die Frischbetonkonsistenz bei der Übergabe an der Baustelle liefert. Die vorhergesagten Konsistenzwerte werden auf der Eingabe- und Anzeigeeinrichtung 8 angezeigt.

In umgekehrter Richtung kann dem neuronalen Netzwerk 9 über die Eingabe- und Anzeigeeinrichtung 8 ein Sollwert für die Frischbetonkonsistenz bei der Übergabe an der Baustelle vorgegeben werden, wobei das neuronale Netzwerk 9 als Antwort auf die vorgegebene Konsistenz diejenigen Werte für die Einflußgrößen x berechnet, bei denen sich die gewünschte Konsistenz des Frischbetons einstellt. Aus den so berechneten Einflußgrößen x ermittelt die Auswerteeinrichtung 4 entsprechende Werte für die Prozeßgrößen 3, die über die Schnittstelle 5 der Steuereinrichtung 1 zur Steuerung der Herstellung des Frischbetons übergeben werden.

Fig. 2 zeigt als Beispiel für das neuronale Netzwerk 9 ein Feedforward-Netzwerk, das eine Eingangsschicht mit jeweils einem Eingangselement 10 für jede der in dem Eingangsvektor x zusammengefaßten n Einflußgrößen aufweist. Über ein zusätzliches Eingangselement 11 wird dem neuronalen Netzwerk ein Offsetwert K_1 zugeführt. Der Eingangsschicht ist eine verdeckte Schicht, bestehend aus m Elementen 12 nachgeordnet, von denen jedes Element 12 ein Antwortverhalten mit einem sigmoiden Verlauf zwischen -1 und $+1$ aufweist. Die den Elementen 12 eingangsseitig zugeführten Eingangsgrößen x_j , $j=1, \dots, n+1$ werden in jedem Element 12 der verdeckten Schicht jeweils mit individuellen Gewichtungsfaktoren w_{ij} , $i=1, \dots, m$, $j=1, \dots, n+1$ versehen aufsummiert, wobei aus der so gebildeten Summe ausgangsseitig die Antwort

$$z_i = \tanh \sum_{j=1}^{n+1} w_{ij} x_j$$

erzeugt wird. Die verdeckte Schicht weist ein zusätzliches Element 13 auf, das als Eingabeelement für einen weiteren Offsetwert K2 dient und ein entsprechendes Ausgangssignal z_{m+1} erzeugt. Der verdeckten Schicht sind drei Ausgabeelemente 14, 15 und 16 nachgeordnet, die die Antworten z_i der Elemente 12 und 13 der verdeckten Schicht jeweils mit individuellen Gewichtungsfaktoren b_i , c_i bzw. d_i zu den Netzwerkantworten

$$a_{NN} = \sum_{i=1}^{m+1} b_i z_i, \quad v_{NN} = \sum_{i=1}^{m+1} c_i z_i \quad \text{und} \quad k_{NN} = \sum_{i=1}^{m+1} d_i z_i$$

aufsummieren. Dabei ist a_{NN} ein Vorhersagewert für das Ausbreitmaß, v_{NN} ein Vorhersagewert für das Verdichtungsmaß und k_{NN} ein Vorhersagewert für den Konsistenzbereich des Frischbetons nach DIN 1045 bei der Übergabe des Betons an der Baustelle.

Da zwischen den unterschiedlichen Größen zur Bestimmung der Frischbetonkonsistenz kein linearer Zusammenhang besteht, werden die Vorhersagewerte a_{NN} , v_{NN} und k_{NN} bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel von drei unterschiedlichen Ausgabeelementen 14, 15 und 16 des neuronalen Netzwerkes 9 erzeugt. Es ist jedoch auch möglich, nur ein einziges Ausgabeelement, beispielsweise für den Vorhersagewert a_{NN} , vorzusehen und die beiden anderen Vorhersagewerte v_{NN} und k_{NN} aufgrund einer vorgegebenen Beziehung rechnerisch aus dem Vorhersagewert a_{NN} zu ermitteln.

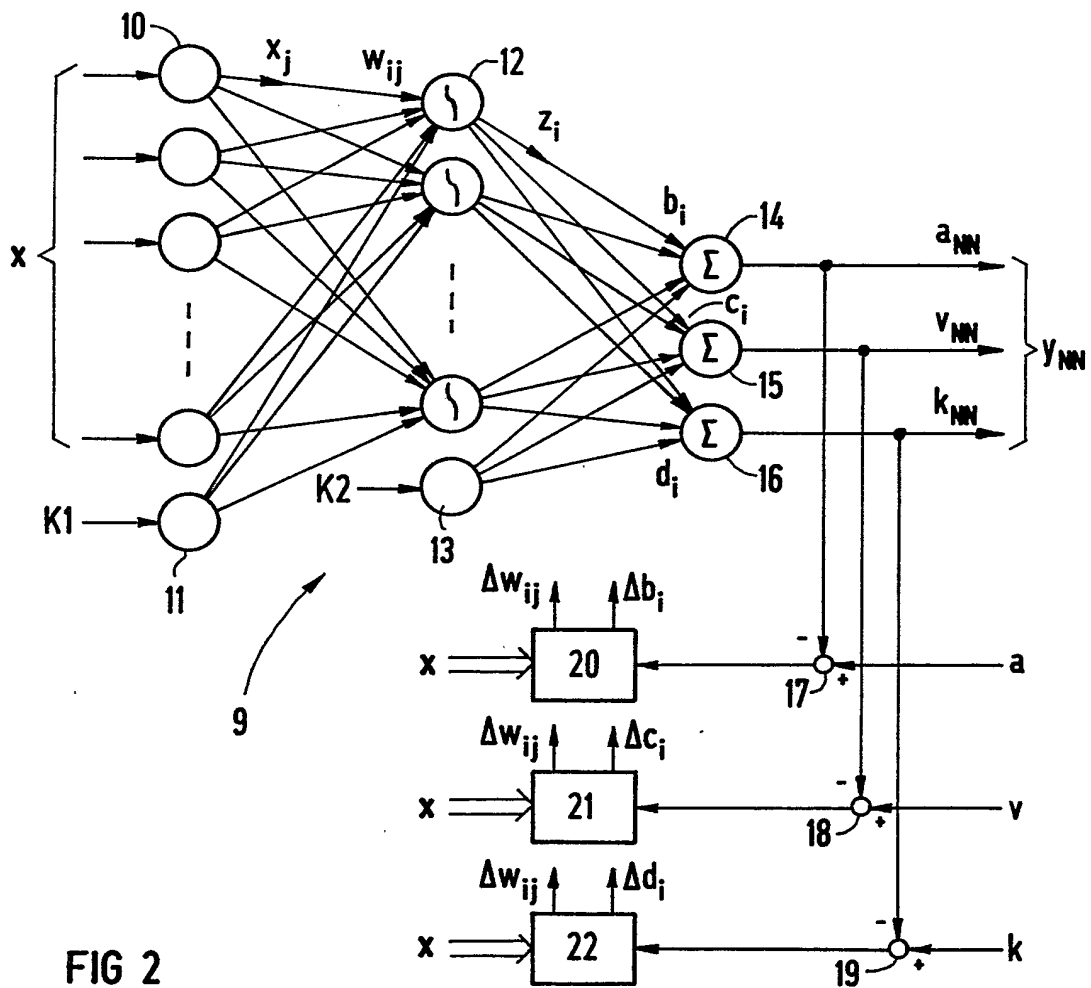
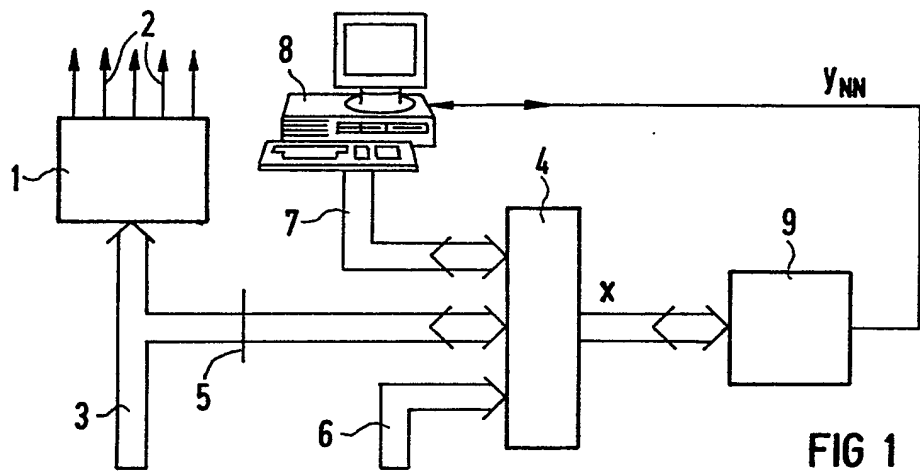
Das Training des neuronalen Netzwerkes erfolgt nach dem Backpropagationalgorithmus, indem jeweils das Minimum der Fehlerfunktionen $E_a = 1/2(a - a_{NN})^2$, $E_v = 1/2(v - v_{NN})^2$ und $E_k = 1/2(k - k_{NN})^2$ durch Abstieg in der Gradientenrichtung gesucht wird. Dazu werden die Netzwerkantworten a_{NN} , v_{NN} und k_{NN} in Vergleichspunkten 17, 18, 19 mit dem an der Baustelle tatsächlich gemessenen Ausbreitmaß a , dem Verdichtungsmaß v und dem ermittelten Konsistenzbereich k des Frischbetons verglichen, wobei in nachgeordneten Adaptionsalgorithmen 20, 21 und 22 die Netzwerkparameter w_{ij} , b_i , c_i und d_i schrittweise in Richtung einer Verringerung der Fehler E_a , E_v und E_k adaptiv verändert werden.

Anstelle des in Fig. 2 gezeigten vorwärtsgerichteten neuronalen Netzwerkes 9 kann auch ein rekursives Netzwerk verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Vorhersage der Konsistenz von Transportbeton bei der Übergabe an der Baustelle, wobei vorgegebene Einflußgrößen (x_i , x_j), von denen die Konsistenz abhängig ist, als Eingangsgrößen einem neuronalen Netzwerk (9) zugeführt werden, das als Netzwerkantwort (y_{NN} ; a_{NN} , v_{NN} , k_{NN}) einen Vorhersagewert für die Konsistenz des Transportbetons bei der Übergabe an der Baustelle liefert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zum Training des neuronalen Netzwerkes (9) die Einflußgrößen (x) aus der Produktion des Frischbetons und die an der Baustelle gemessene Konsistenz (a , v , k) herangezogen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei als Eingangsgrößen (x_i , x_j) für das neuronale Netzwerk (9) zumindest einige der folgenden Einflußgrößen verwendet werden: die Gewichte der Bindemittelkomponenten, Zuschlagkomponenten, Zusatzmittel, Zusatzstoffe und des Zugabewassers; Qualitätsmerkmale, darunter insbesondere die Körnung, die Festigkeit und der Hersteller der Bindemittelkomponenten, Zuschlagkomponenten, Zusatzmittel und Zusatzstoffe; Prozeßparameter, darunter insbesondere die Feuchte der Zuschlagkomponenten, die Temperatur und Dichte des Zugabewassers, die elektrische Stromaufnahme des Mischerantriebs und die Umgebungstemperatur, sowie die Fahrzeit zur Baustelle.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als neuronales Netzwerk (9) ein Feedforward-Netzwerk mit zumindest einer verdeckten Schicht, bestehend aus Elementen (12) mit sigmoidem Antwortverhalten verwendet wird.
5. Einrichtung zur Vorhersage der Konsistenz von Transportbeton bei der Übergabe an der Baustelle mit einem neuronalen Netzwerk (9), das Eingänge für vorgegebene Einflußgrößen (x_i , x_j), von denen die Konsistenz abhängig ist, und einen Ausgang aufweist, der einen Vorhersagewert (y_{NN} ; a_{NN} , v_{NN} , k_{NN}) für die Konsistenz des Transportbetons bei der Übergabe an der Baustelle liefert.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen



PUB-NO: DE004437970A1
DOCUMENT-IDENTIFIER: DE 4437970 A1
TITLE: Predicting consistency of concrete in transit
PUBN-DATE: May 2, 1996

INVENTOR-INFORMATION:

| NAME | COUNTRY |
|---------------------------------|---------|
| HAAS, ERNST-FRIEDRICH DE DIPL I | DE |
| SCHWEISSER, MARTIN | DE |

ASSIGNEE-INFORMATION:

| NAME | COUNTRY |
|------------|---------|
| SIEMENS AG | DE |

APPL-NO: DE04437970
APPL-DATE: October 24, 1994

PRIORITY-DATA: DE04437970A (October 24, 1994)

INT-CL (IPC): G01N033/38 , G01N011/10 , B28C007/00

EUR-CL (EPC): G01N033/38 , G06N003/08

ABSTRACT:

CHG DATE=19990617 STATUS=O>Predefined parameters of influence, on which the concrete's consistency depends, are fed into a neural network which produces a response in the form of a prediction of the consistency when the concrete is delivered to the construction point. For training the neural network, the influencing parameters are derived from the production of the fresh concrete and the consistency of concrete on delivery. Some of the following parameters are used: the wts. of the binding agent, aggregate, additives, additional material and water; quality characteristics, e.g. granularity, solidity, manufacturer, added material types; process parameters, esp. moisture content, temp. and density of added water; electrical power consumption of the mixer drive; ambient temp.; transportation time.